

不同施肥处理下蔬菜塑料大棚土壤 微生物活性及功能多样性

申卫收^{1,2,3}, 林先贵^{1,2,*}, 张华勇^{1,2}, 尹睿^{1,2}, 段增强¹, 施卫明¹

(1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008; 2. 中国科学院南京土壤研究所-香港浸会大学
土壤与环境联合开放实验室, 南京 210008; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:利用土壤酶学方法、微生物培养方法及 Biolog 微生物自动分析系统, 分析了不同施肥处理下塑料大棚种植黄瓜与番茄的土壤中微生物活性及功能多样性。结果表明, 与传统施肥相比, 配方施肥下塑料大棚黄瓜土壤脱氢酶活性提高了 36.5%, 番茄土壤脱氢酶活性则提高了 66.5%, 且达到了显著水平。配方施肥下塑料大棚黄瓜与番茄土壤可培养放线菌数量分别比传统施肥处理增加了 30.0% 和 72.2%, 且都达到了显著水平。Biolog 结果显示, 在土壤微生物培养过程中, 配方施肥下塑料大棚番茄土壤微生物群落 AWCD 始终大于无肥处理及传统施肥处理。与传统施肥相比, 配方施肥下塑料大棚黄瓜土壤微生物培养 96 h 的 AWCD 增加了 1.9%, 番茄土壤微生物培养 96h 的 AWCD 则增加了 68.5%, 且达到了显著水平。配方施肥下塑料大棚番茄土壤微生物 Shannon 指数、Simpson 指数及 McIntosh 指数都大于传统施肥处理, 并且 McIntosh 指数达到了显著水平。PCA 分析表明, 配方施肥下蔬菜塑料大棚土壤微生物群落碳源利用能力与传统施肥处理明显不同。

关键词:塑料大棚; 传统施肥; 配方施肥; 脱氢酶活性; Biolog

文章编号: 1000-0933(2008)06-2682-08 中图分类号: Q143, Q16, Q938, S154.36 文献标识码: A

Microbial activity and functional diversity in soils used for the commercial production of cucumbers and tomatoes in polytunnel greenhouse, under different fertilization

SHEN Wei-Shou^{1,2,3}, LIN Xian-Gui^{1,2,*}, ZHANG Hua-Yong^{1,2}, YIN Rui^{1,2}, DUAN Zeng-Qiang¹, SHI Wei-Ming¹

1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

2 Joint Open Laboratory of Soil and the Environment, Institute of Soil Science and Hong Kong Baptist University, Nanjing 210008, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2682 ~ 2689.

Abstract: In this study soil enzyme analysis, microbial cultivation and Biolog analysis were employed to evaluate the microbial activity and functional diversity of soil enclosed in a polythene tunnel greenhouse or “polytunnel”, intended for the cultivation of cucumbers (*Cucumis sativus* L.) or tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Miller). The results show that the dehydrogenase activity of the soil kept in the polytunnel under recommended fertilization is 36.5% higher than that under conventional fertilization. In addition the dehydrogenase activity of the polytunnel soil used to grow tomatoes under recommended fertilizer inputs significantly increased by 66.5% when compared with conventional practices. The number of

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (Kzcx3-sw-439)

收稿日期: 2007-03-20; 修订日期: 2007-11-07

作者简介: 申卫收 (1979 ~), 男, 陕西杨凌人, 博士生, 主要从事环境与土壤微生物学研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xglin@mail.issas.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (No. Kzcx3-sw-439)

Received date: 2007-03-20; **Accepted date:** 2007-11-07

Biography: SHEN Wei-Shou, Ph. D. candidate, mainly engaged in environmental and soil microbiology.

culturable actinomycetes of both cucumber and tomato soils cultivated in the polytunnels significantly increased by 30.0% and 72.2%, respectively, when compared with conventional fertilization. The Biolog analyses indicate that AWCD (Average Well Color Development) in tomato soils under recommended fertilization are always greater than those under conventional or no fertilizer treatments when incubated in polytunnels. The AWCD incubated at 96 hrs in cucumber soils and in the polytunnel under recommended fertilization were 36.5% higher than that under conventional fertilization. Similarly, in tomato soils kept in the polytunnel, the AWCD at 96 hrs under recommended fertilization had significantly increased by 68.5% when compared with conventional fertilization. The Shannon, Simpson and McIntosh indices of polytunnel greenhouse tomato soil microbial communities under recommended fertilization were higher than those under conventional fertilization. The McIntosh index was significant at $p < 0.05$. PCA analyses suggests that carbon utilization of the soil microbial communities in the cucumber and tomato soils under recommended and conventional fertilization differ markedly from each other.

Key Words: polytunnel greenhouse; conventional fertilization; recommended fertilization; dehydrogenase activity; Biolog

种植高产的农作物品种、施用化肥、农药以及灌溉在过去 50a 极大地增加了粮食产量,然而土地利用变化与集约化也改变了生物之间的相互作用与生态系统中资源的获得方式,可以产生严重的地区性与全球性的环境问题^[1]。设施农业是高度集约化的农业生产体系。蔬菜塑料大棚生产是我国最主要的设施农业类型,而蔬菜塑料大棚生产又以有土栽培为主。2004 年我国蔬菜塑料大棚面积达 211 万 hm^2 ,居世界第一位^[2]。随着我国蔬菜塑料大棚面积逐年扩大,土地利用强度增加,大量肥料的投入一方面增加了蔬菜产量,另一方面也造成了土壤次生盐渍化、酸化及连作障碍等一系列土壤质量退化问题^[3~5],并且加剧了地下水中硝酸盐污染的生态风险^[6~9]。荷兰设施农业 90% 以上采用无土栽培,环境负荷相对较轻;尽管日本设施农业 99% 以上采用有土栽培,由于采用“环境保护型设施农业土肥管理技术”,在提高肥料利用率与减轻土壤环境的化学负荷方面取得了明显成效^[10]。

土壤微生物在维持土壤功能方面至关重要,因为微生物参与了土壤中发生的重要过程,如土壤结构的形成、有机质的转化、有毒物质的降解以及 C、N、P、S 的循环。土壤微生物也是维持土壤质量的重要因素,微生物学指标能敏感地反映土壤质量的变化,是土壤质量评价指标体系中不可缺少的组成部分^[11]。蔬菜塑料大棚土壤化学逆境的形成,加之塑料大棚蔬菜连作使土壤中有毒有害物质逐渐累积,降低了根系活力与养分利用效率^[12],导致微生物种群数量及结构发生变化^[13,14],有益微生物数量降低^[15,16],病原微生物数量增加^[17,18],土传病害比较严重。

配方施肥是指通过对当地土壤进行测试,及时掌握土壤肥力状况,按不同作物的需肥特征和农业生产要求,实行有机肥与化肥、氮肥与磷钾肥、中微量元素等肥料适量配比平衡施用,提高肥料养分利用率,促进农业生产高产、优质和高效的一种科学施肥方法。配方施肥包括土壤养分测定、施肥方案的制订和正确施用肥料三大部分,具体可分为土壤测试、配方设计、肥料生产、正确施用等环节^[19]。根据作物养分需求规律,进行配方施肥具有良好的经济与生态效益。到目前为止,配方施肥在减缓蔬菜塑料大棚土壤次生盐渍化、酸化及连作障碍中的作用研究较少,配方施肥与蔬菜塑料大棚土壤微生物活性及多样性的关系尚不清楚。

本研究应用土壤酶学方法、微生物培养方法及 Biolog 微生物自动分析系统,分析了不同施肥处理下蔬菜塑料大棚土壤微生物活性及功能多样性,为我国蔬菜塑料大棚土壤的可持续利用提供一些初步的微生物学依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集与处理

供试土壤于 2006 年 7 月 9 日采自江苏省宜兴观光农业科技示范园塑料大棚。小区试验分为 3 个处理:无肥、传统施肥及配方施肥,同时分别栽种黄瓜和番茄,每个处理 3 次重复,共 18 个小区。配方施肥下水解氮

适宜量为 300 mg kg^{-1} , 有效磷适宜量为 90 mg kg^{-1} , 速效钾适宜量 240 mg kg^{-1} [20]。分析土壤养分含量, 依据上述养分适宜量合理施用尿素、过磷酸钙及硫酸钾。所有小区随机分布在 3 个塑料拱棚 ($36 \text{ m} \times 6 \text{ m}$) 内, 小区实际面积为 $10 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 20 \text{ m}^2$, 小区之间采用 PVC 板 (埋深 50 cm) 隔离。小区四周设置保护行, 并用塑料薄膜 (埋深 50 cm) 将小区与保护行隔离。随机多点采集黄瓜和番茄采收后期表层 ($0 \sim 20 \text{ cm}$) 土样。新鲜土样去掉石子、植物根系等杂物后混匀并保存在 4°C 冰箱中待分析。供试土壤 pH 值、EC 值与盐分总含量见表 1。

1.2 土壤脱氢酶活性测定

土壤脱氢酶活性采用氯化三苯基四氮唑 (TTC) 还原法 [21]。称取 2.5 g 鲜土, 加入 2.5 ml 1.0% TTC - Tris 缓冲液 (pH 7.6), 同时设置对照, 以 0.2 mol L^{-1} Tris-HCl 缓冲液替代 TTC, 置 37°C 暗室培养 24 h , 取出后加入甲醇终止反应, 并定容到 25 ml , 涡旋振荡 1 min , 静置后过滤, 立即用分光光度计在 485 nm 波长下比色测定。根据标准曲线计算 TPF 的浓度, 酶活性以 TTC 还原产物三苯基甲腈 (TPF) 的生成量表示 (mg TPF kg^{-1} 烘干土 $\times 24 \text{ h}$)。

表 1 不同施肥处理下塑料大棚黄瓜与番茄土壤 pH 值、EC 值与盐分总含量

Table 1 pH value, EC value and total salt content in the soils of cucumber and tomato cultivated in the polytunnels under different fertilization

处理 Treatment		pH 值 (H_2O)	EC 值 EC value (mS cm^{-1})	盐分总含量 Total salt content (g kg^{-1})
无肥 No fertilization	黄瓜 Cucumber	4.79	0.903	3.505
	番茄 Tomato	4.89	0.912	3.764
传统施肥 Conventional fertilization	黄瓜 Cucumber	4.39	1.080	4.631
	番茄 Tomato	4.50	1.098	4.568
配方施肥 Recommended fertilization	黄瓜 Cucumber	4.50	1.018	4.327
	番茄 Tomato	4.63	0.952	3.823

1.3 土壤中可培养细菌、真菌及放线菌数量的测定

土壤中细菌、真菌及放线菌的分离和数量测定采用稀释平板法, 28°C 恒温培养、计数, 计数结果取常用对数后进行统计分析, 每个稀释度重复 3 次。三大类菌培养基分别为牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、马丁氏培养基及高氏 1 号培养基 [22]。

1.4 Biolog 分析

土壤微生物功能多样性采用 Biolog 微生物自动分析系统 (Biolog, Hayward, CA, USA) 进行分析 [23,24]。称取 10 g 新鲜土样置于 100 ml 无菌 0.05 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.0) 中, 在约 180 r/min 下振荡 20 min 。用无菌 0.05 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.0) 稀释到 10^{-3} 后, 再用 8 通道加样器向 Biolog Eco 微孔板 (Biolog, Hayward, CA, USA) 各孔分别添加 $150 \mu\text{l}$ 稀释后的悬液。每个微孔板上做 3 个土壤样品重复。 25°C 恒温培养, 24 h 后在 BIOLOG Emax™ 自动读盘机 (Biolog, Hayward, CA, USA) 上利用 Microlog Rel. 4.2 软件 (Biolog, Hayward, CA, USA) 读取 750 nm 和 590 nm 波长下的吸光值。选取 96 h 的数据进行多样性指数的计算和主成分分析。多样性指数计算方法如下 [25,26]：

平均吸光度 AWCD 可以评判微生物群落对碳源利用的总的的能力, 其中 A_i 为第 i 孔的相对吸光度, A_{A1} 为 A1 孔的相对吸光值

$$AWCD = \frac{\sum (A_i - A_{A1})}{31}$$

Shannon 指数用于评估丰富度, 其中 P_i 为第 i 孔的相对吸光值与整个平板相对吸光值总和的比率

$$H' = - \sum P_i \cdot \ln(P_i)$$

Simpson 指数是用于评估优势度的指数, 常用其变型 Gini 指数来评价多样性, 其中 P_i 为第 i 孔的相对吸

光值与整个平板相对吸光值总和的比率

$$D = 1 - \sum (Pi)^2$$

McIntosh 指数 U 是基于群落物种多维空间距离的多样性指数,为一致性的量度,其中 ni 是第 i 孔的相对吸光值, N 是相对吸光值总和

$$U = \sqrt{(\sum ni^2)}$$

1.5 数据分析

数据统计分析利用 SPSS 13.0 和 Microsoft Excel 2003 完成。

2 结果与分析

2.1 土壤脱氢酶活性

土壤脱氢酶只存在于活微生物细胞内部,是表征土壤中生活微生物活性的一个重要指标。从图 1 可以看出,无肥与配方施肥下塑料大棚黄瓜土壤脱氢酶活性都比传统施肥处理高。与传统施肥相比,配方施肥下塑料大棚黄瓜土壤脱氢酶活性提高了 36.5%。配方施肥下塑料大棚番茄土壤脱氢酶活性最高,传统施肥下土壤脱氢酶活性最低,并且在统计上达到了显著水平 ($p < 0.05$)。与传统施肥相比,配方施肥下塑料大棚番茄土壤脱氢酶活性提高了 66.5%。从表 3 还可以看出,不同施肥处理对土壤脱氢酶活性有显著的影响 ($p < 0.05$),植物类型对土壤脱氢酶活性没有显著的影响。

2.2 土壤中可培养细菌、真菌及放线菌数量

土壤中可培养的细菌、真菌与放线菌是反映土壤微生物区系的常用指标。从表 2 可以看出,无肥、配方施肥与传统施肥下塑料大棚黄瓜土壤中可培养细菌与真菌数量没有显著差异,但可培养放线菌数量显著大于传统施肥处理,比传统施肥处理增加了 30.0%。无肥、配方施肥与传统施肥下塑料大棚番茄土壤中可培养细菌与真菌数量也没有显著差异。配方施肥下塑料大棚番茄土壤中可培养放线菌数量显著大于传统施肥处理,比传统施肥处理增加了 72.2%。表 3 显示,不同施肥处理对土壤中可培养细菌与真菌没有显著的影响,但对土壤中可培养放线菌数量有极显著的影响 ($p < 0.01$);植物类型对土壤中可培养细菌、真菌及放线菌数量没有显著的影响。

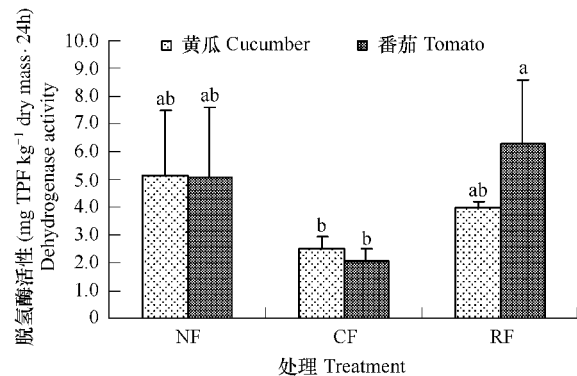


图 1 不同施肥处理下塑料大棚黄瓜与番茄土壤脱氢酶活性

Fig. 1 Dehydrogenase activity of cucumber and tomato soils cultivated in the polytunnels under different fertilization

NF: 无肥 No fertilization; CF: 传统施肥 Conventional fertilization; RF: 配方施肥 Recommended fertilization; 不同的字母表示在 0.05 水平差异显著 Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$

表 2 不同施肥处理下塑料大棚黄瓜与番茄土壤可培养微生物数量

Table 2 Numbers of culturable microorganisms in the soils of cucumber and tomato cultivated in the polytunnels under different fertilization

处理 Treatment		细菌 Bacteria (log CFU g ⁻¹ dry mass)	真菌 Fungi (log CFU g ⁻¹ dry mass)	放线菌 Actinomycetes (log CFU g ⁻¹ dry mass)
无肥 No fertilization	黄瓜 Cucumber	7.311 ± 0.130 ^a	5.280 ± 0.081 ^a	6.554 ± 0.173 ^a
	番茄 Tomato	7.177 ± 0.110 ^a	5.162 ± 0.189 ^a	6.198 ± 0.237 ^{bc}
传统施肥 Conventional fertilization	黄瓜 Cucumber	7.257 ± 0.223 ^a	5.260 ± 0.200 ^a	5.984 ± 0.149 ^{cd}
	番茄 Tomato	7.508 ± 0.363 ^a	5.221 ± 0.201 ^a	5.858 ± 0.197 ^d
配方施肥 Recommended fertilization	黄瓜 Cucumber	7.391 ± 0.242 ^a	5.259 ± 0.132 ^a	6.398 ± 0.032 ^{ab}
	番茄 Tomato	7.391 ± 0.060 ^a	5.270 ± 0.253 ^a	6.509 ± 0.102 ^a

同一列中不同的字母表示在 0.05 水平差异显著 Different letters in the same column indicate significant differences at $p < 0.05$

表 3 施肥处理与植物类型对塑料大棚黄瓜与番茄土壤脱氢酶活性、可培养微生物数量的效应

Table 3 The effects of fertilization treatment and plant type on dehydrogenase activity, numbers of culturable microorganisms in the soils of cucumber and tomato cultivated in the polytunnels

效应 Effect	自由度 Degree of freedom df	脱氢酶活性 Dehydrogenase activity F	细菌 Bacteria F	真菌 Fungi F	放线菌 Actinomycetes F
施肥处理 Fertilization treatment	2	5.27 *	0.9	0.08	18.78 **
植物类型 Plant type	1	0.56	0.15	0.31	2.6
施肥处理 × 植物类型 Fertilization treatment × Plant type	2	1.11	1.26	0.19	3.09

双因素方差分析结果 (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$) Results of two-way ANOVA (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

2.3 土壤微生物群落功能多样性

Biolog 微生物自动分析系统广泛用于土壤与环境样品中微生物群落功能多样性的分析。Biolog Eco 微孔板具有 31 种培养基,其中含有 125 种不同的碳源^[24],可以同时在一块板上做 3 个样品重复。Biolog Eco 微孔板中有 6 种培养基是 Biolog GN 微孔板所没有的^[27],加入的碳源一般是植物根系分泌物,因而更能够代表根际土壤微生物群落可利用的碳源,与土壤微生物群落的生态功能更具相关性^[24]。AWCD 可以评判土壤中微生物群落的碳源利用能力,指示土壤中微生物的代谢活性。从图 2 可以看出,随着培养时间的延长,不同施肥处理下塑料大棚黄瓜土壤微生物群落 AWCD 之间差异并不明显。这可能是由于定位试验布置时间较短,塑料大棚黄瓜土壤微生物群落的响应存在一个时间尺度的问题。从图 3 可以看出,随着培养时间的延长,不同施肥处理下塑料大棚番茄土壤微生物群落的 AWCD 之间差异十分明显,配方施肥下塑料大棚番茄土壤微生物的 AWCD 始终大于无肥处理及传统施肥处理。从表 4 也可以看出,与传统施肥相比,配方施肥下塑料大棚黄瓜土壤微生物培养 96h 的 AWCD 增加了 1.9%,番茄土壤微生物培养 96h 的 AWCD 则增加了 68.5%,且达到了显著水平。表 5 显示,不同施肥处理及不同植物类型均对土壤微生物群落的 AWCD 没有显著的影响。

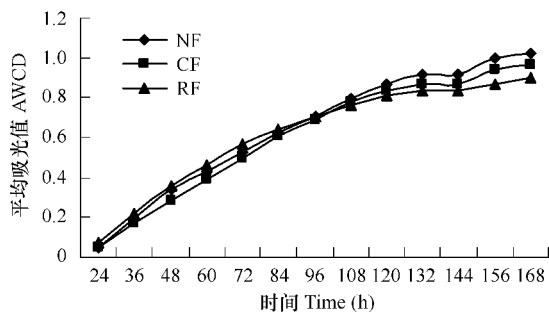


图 2 不同施肥处理下塑料大棚黄瓜土壤微生物培养过程中 AWCD 的变化

Fig. 2 AWCD variations during incubation of cucumber soil microbial communities under different fertilization

NF: 无肥 No fertilization; CF: 传统施肥 Conventional fertilization; RF: 配方施肥 Recommended fertilization

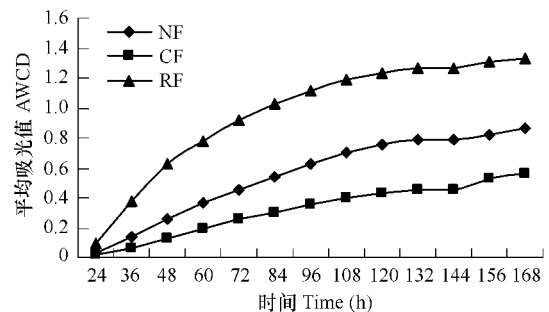


图 3 不同施肥处理下塑料大棚番茄土壤微生物培养过程中 AWCD 的变化

Fig. 3 AWCD variations during incubation of tomato soil microbial communities under different fertilization

NF: 无肥 No fertilization; CF: 传统施肥 Conventional fertilization; RF: 配方施肥 Recommended fertilization

表 4 列出了土壤微生物在培养 96 h 的 Shannon 指数、Simpson 指数与 McIntosh 指数。Shannon 指数可以表征土壤中微生物群落丰富度,Simpson 指数评估土壤中微生物群落优势度,McIntosh 指数反映土壤中微生物群落均匀度。不同施肥处理下塑料大棚黄瓜土壤微生物群落的 Shannon 指数、Simpson 指数与 McIntosh 指数之间差异并不明显。这可能是由于塑料大棚黄瓜土壤微生物群落对不同施肥处理的响应需要一定的时间。但配方施肥下塑料大棚番茄土壤微生物群落的 Shannon 指数、Simpson 指数及 McIntosh 指数都大于传统施肥处理,并且 McIntosh 指数达到了显著水平。从表 5 可以看出,不同施肥处理及不同植物类型均对土壤微生物

群落的多样性与均匀度指数没有显著的影响。

表 4 不同施肥处理下塑料大棚黄瓜与番茄土壤微生物 AWCD、多样性与均匀度指数

Table 4 AWCD, diversity and evenness indices of cucumber and tomato cultivated in the polytunnels under different fertilization					
处理 Treatment		平均吸光值 AWCD	Shannon 指数 Shannon index	Simpson 指数 Simpson index	McIntosh 指数 McIntosh index
无肥 No fertilization	黄瓜 Cucumber	0.705 ± 0.403 ^{ab}	3.002 ± 0.336 ^a	0.939 ± 0.029 ^a	4.844 ± 2.072 ^{ab}
	番茄 Tomato	0.625 ± 0.336 ^{ab}	2.798 ± 0.406 ^a	0.922 ± 0.044 ^a	4.774 ± 1.641 ^{ab}
传统施肥 Conventional fertilization	黄瓜 Cucumber	0.691 ± 0.174 ^{ab}	3.045 ± 0.207 ^a	0.945 ± 0.013 ^a	4.883 ± 0.619 ^{ab}
	番茄 Tomato	0.351 ± 0.448 ^b	2.548 ± 0.712 ^a	0.876 ± 0.101 ^a	2.809 ± 2.750 ^b
配方施肥 Recommended fertilization	黄瓜 Cucumber	0.704 ± 0.389 ^{ab}	2.890 ± 0.412 ^a	0.929 ± 0.040 ^a	5.085 ± 1.818 ^{ab}
	番茄 Tomato	1.117 ± 0.163 ^a	3.250 ± 0.092 ^a	0.958 ± 0.005 ^a	7.023 ± 0.679 ^a

同一列中不同的字母表示在 0.05 水平差异显著 Different letters in the same column indicate significant differences at $p < 0.05$

表 5 施肥处理与植物类型对塑料大棚黄瓜与番茄土壤微生物群落平均吸光值、多样性与均匀度指数的效应

Table 5 The effects of fertilization treatment and plant type on AWCD, diversity and evenness indices of polytunnel greenhouse soil microbial communities					
效应 Effect	自由度 Degree of freedom df	平均吸光值 AWCD F	Shannon 指数 Shannon index F	Simpson 指数 Simpson index F	McIntosh 指数 McIntosh index F
施肥处理 Fertilization treatment	2	2.04	0.68	0.68	2.36
植物类型 Plant type	1	0	0.35	0.68	0.01
施肥处理 × 植物类型 Fertilization treatment × Plant type	2	1.92	1.7	1.5	1.94

双因素方差分析结果(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$) Results of two-way ANOVA (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

2.4 蔬菜塑料大棚土壤微生物群落碳源利用谱的 PCA 分析

主成分分析(Principal component analysis,PCA)是采取降维的方法,使用少数的相互无关的综合指标反映原统计数据中所包含的绝大多数信息。图 4 表明,在主成分 2(Principal component 2,PC2)上,配方施肥下塑料大棚黄瓜土壤微生物群落碳源利用谱与传统施肥处理可以区分开来。图 5 也表明,在主成分 1(PC1)上,配方施肥下塑料大棚番茄土壤微生物群落碳源利用谱与传统施肥处理可以明显区分开来。

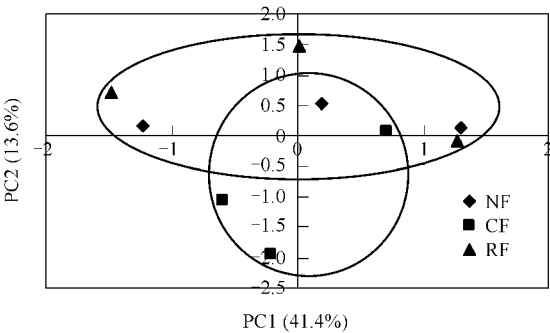


图 4 不同施肥处理下塑料大棚黄瓜土壤微生物群落碳源利用谱的主成分分析

Fig. 4 Principal component analysis (PCA) of carbon utilization of cucumber soil microbial communities under different fertilization
NF: 无肥 No fertilization; CF: 传统施肥 Conventional fertilization;
RF: 配方施肥 Recommended fertilization

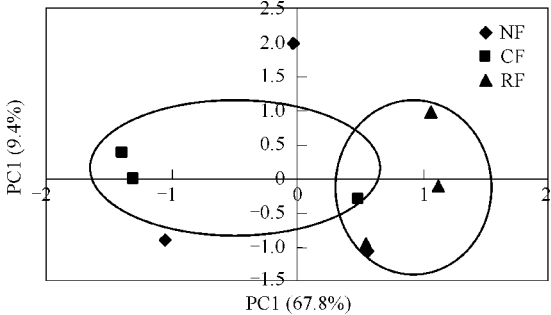


图 5 不同施肥处理下塑料大棚番茄土壤微生物群落碳源利用谱的主成分分析

Fig. 5 Principal component analysis (PCA) of carbon utilization of tomato soil microbial communities under different fertilization
NF: 无肥 No fertilization; CF: 传统施肥 Conventional fertilization;
RF: 配方施肥 Recommended fertilization

3 讨论

土壤微生物多样性受植物类型、土壤类型与土壤管理措施的影响^[28]。根据作物养分需求规律进行配方

施肥,一方面为作物创造了良好的土壤肥力条件,因此作物长势较好,根系分泌物比较丰富多样,从而为土壤微生物提供了良好的生境;另一方面,配方施肥提高了肥料利用率,减少了土壤中养分的累积,相对于传统施肥缓和了土壤酸化的趋势,也相对缓解了盐分在土壤表层的累积(表1),从而减轻了盐分对作物与土壤微生物的胁迫,创造了有利于土壤微生物活动的场所。由于不施肥处理土壤盐分含量降低及 pH 值的升高(表1),植物逆境胁迫较轻,根系活力增强,因而以土壤脱氢酶活性表征的土壤中生活微生物的活性也比较高。但是如果肥料投入不合理,塑料大棚蔬菜产量就会下降,农民的经济收益降低。传统施肥在提高了塑料大棚蔬菜产量的同时,也造成了土壤养分的大量累积,加剧了土壤次生盐渍化与酸化(表1);塑料大棚低温弱光及土壤化学逆境导致了蔬菜根系活力与土壤微生物活性及多样性降低,土壤养分转化与供应受到抑制^[4,12]。连作障碍是作物养分与病害的综合症。随着连作年限的增加,不合理施肥还可能改变微生物群落结构,降低有益微生物数量,增加土传病害菌数量,从而进一步加剧塑料大棚蔬菜连作障碍。配方施肥在提高了土壤微生物活性及功能多样性的同时,也改善了土壤微生物区系,增加了有益微生物放线菌的数量。放线菌的增多有利于土壤中抗菌素和激素类物质的增加,对各种土传病害起一定的抑制作用,减轻了连作障碍。配方施肥提高了塑料大棚蔬菜土壤微生物活性与功能多样性,并促使土壤微生物群落可能朝有利的方面演替。

不同施肥处理对土壤脱氢酶活性与土壤中可培养放线菌数量有显著的影响,随着肥料定位试验时间的延长,配方施肥会显著增加土壤微生物群落代谢活性与功能多样性。在一定的时间尺度内,对于肥料定位试验而言,不同的植物类型也可能影响到根际土壤微生物代谢活性与群落功能多样性。塑料大棚番茄土壤微生物活性与多样性略高于塑料大棚番茄土壤,但不同植物类型对土壤微生物活性与多样性没有显著影响。由于前茬作物是黄瓜,黄瓜连作过程中会产生一些自毒物质,从而在一定程度上抑制了土壤微生物活性及多样性^[15,16]。

总之,配方施肥相对于传统施肥提高了以土壤脱氢酶活性表征的土壤中生活微生物的活性,也提高了以 AWCD 表征的土壤中微生物群落代谢活性,增加了土壤中微生物群落功能多样性,改善了土壤微生物区系,有利于有益微生物的存活。配方施肥下塑料大棚蔬菜土壤微生物群落可能朝有利方面演替,但需结合微生物分子生物学方法,揭示土壤微生物群落结构变化及其生态功能的关系。配方施肥相对于传统施肥提高了微生物活性及多样性,也还需长期的肥料定位试验进一步验证。

References:

- [1] Matson P A, Parton W J, Power A G, *et al.* Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 1997, 277: 504—509.
- [2] Ministry of Agriculture, PRC. China Agriculture Statistical Report. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [3] Li W Q, Zhang M, Van Der Zee S. Salt contents in soils under plastic greenhouse gardening in China. *Pedosphere*, 2001, 2: 359—367.
- [4] Lin X G, Yin R, Zhang H Y, *et al.* Changes of soil microbiological properties caused by land use changing from rice-wheat rotation to vegetable cultivation. *Environmental Geochemistry and Health*, 2004 26: 119—128.
- [5] Sun G W, Chen R Y, Liu H C. Causes and control measures for continuous cropping obstacles in protected vegetable cultivation. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21 (Supp.): 184—188.
- [6] Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, *et al.* Nitrate pollution of groundwater in northern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1996, 59: 223—231.
- [7] Stites W, Kraft G J. Nitrate and chloride loading to groundwater from an irrigated north-central US sand-plain vegetable field. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30: 1176—1184.
- [8] Ramos C, Agut A, Lidon A L. Nitrate leaching in important horticultural crops of the Valencian Community region (Spain). *Environmental Pollution*, 2002, 118: 215—223.
- [9] Zhu J H, Li X L, Zhang F S, *et al.* Responses of greenhouse tomato and pepper yields and nitrogen dynamics to applied compound fertilizers. *Pedosphere*, 2004, 14, 213—222.
- [10] He M, Wang G Z, Lu Z R, *et al.* Research progress of environmentally responsible soil and fertilizer management technique of protected agriculture in Japan. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18 (4): 92—96.
- [11] Sun B, Zhao Q G, Zhang T L, *et al.* Soil quality and sustainable environment III. Biological indicators of soil quality. *Soils*, 1997, 29(5): 225—

234.

- [12] Yu J Q, Matsui Y. Effects of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedling. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 23: 817 – 827.
- [13] Hu Y S, Liu Y F, Wu K, *et al.* Variation of microbial community structure in relation to successive cucumber cropping soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37 (1): 126 – 129.
- [14] Lei J L, Zhou Y H, Ding J, *et al.* Effect of continuous cropping of different vegetables on DNA polymorphism of soil bacteria. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38 (10): 2076 – 2083.
- [15] Wu F Z, Zheng W X. Effect of p-hydroxybenzoic and cinnamic acids on soil fungi (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*) growth and microbial population. *Allelopathy Journal*, 2006, 18: 129 – 139.
- [16] Yao H Y, Bowman D, Shi W. Soil microbial community structure and diversity in a turfgrass chronosequence: Land-use change versus turfgrass management. *Applied Soil Ecology*, 2006, 34: 209 – 218.
- [17] Ye S F, Yu J Q, Peng Y H, *et al.* Incidence of *Fusarium* wilt in *Cucumis sativus* L. is promoted by cinnamic acid, an autotoxin in root exudates. *Plant and Soil*, 2004, 263: 143 – 150.
- [18] Ma Y H, Wang X F, Wei M, *et al.* Accumulation of phenolic acids in continuously cropped cucumber soil and their effects on soil microbes and enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16 (11): 2149 – 2153.
- [19] Gao X Z, Ma C B, Du S. Testing soil for formulated fertilization. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [20] Zhang Y S, Ni W Z, Lin X Y, *et al.* The state of the available nutrients of the vegetable garden soils in the suburb of Hangzhou and fertilizing countermeasures. In: Xie J C, Chen J X, *et al.* ed. *Vegetable Garden Soils Fertility and Vegetable Logical Fertilization*. Nanjing: Hehai University Press, 1997. 43 – 46.
- [21] Casida L C, Klein D A, Santoro T. Soil dehydrogenase activity. *Soil Science*, 1964, 98: 371 – 376.
- [22] Microbiological Department, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Research Method of Soil Microorganism*. Beijing: Science Press, 1985.
- [23] Garland J L, Mills A L. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level-sole-carbon-source-utilization. *Applied and Environmental Microbiology*, 1991, 57 (8): 2351 – 2359.
- [24] Campbell C D, Grayston S J, Hirst D J. Use of rhizosphere carbon sources in sole carbon source tests to discriminate soil microbial communities. *Journal of Microbiological Methods*, 1997, 30: 33 – 41.
- [25] Zak J C, Willig M R, Moorhead D L, *et al.* Functional diversity of microbial communities: a quantitative approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 1994, 26: 1101 – 1108.
- [26] Yang Y H, Yao J, Hua X M. Effect of pesticide pollution against functional microbial diversity in soil. *Journal of Microbiology*, 2000, 20 (2): 23 – 25.
- [27] Choi K H, Dobbs F C. Comparison of two kinds of Biolog microplates (GN and ECO) in their ability to distinguish among aquatic microbial communities. *Journal of Microbiological Methods*, 1999, 36: 203 – 213.
- [28] Garbeva P, Van Veen J A, Van Elsas J D. Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for soil suppressiveness. *Annual Review of Phytopathology*, 2004, 42: 243 – 270.

参考文献:

- [2] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [5] 孙光闻, 陈日远, 刘厚诚. 设施蔬菜连作障碍原因及防治措施. *农业工程学报*, 2005, 21 (增刊): 184 ~ 188.
- [10] 何明, 王国忠, 陆嵘, 等. 日本环境保护型设施农业土肥管理技术的研究动态. *农业工程学报*, 2002, 18 (4): 92 ~ 96.
- [11] 孙波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境 III. 土壤质量评价的生物学指标. *土壤*, 1997, 29 (5): 225 ~ 234.
- [13] 胡元森, 刘亚峰, 吴坤, 等. 黄瓜连作土壤微生物区系变化研究. *土壤通报*, 2006, 37 (1): 126 ~ 129.
- [14] 雷娟利, 周艳虹, 丁桔, 等. 不同蔬菜连作对土壤细菌 DNA 分子水平多态性影响的研究. *中国农业科学*, 2005, 38 (10): 2076 ~ 2083.
- [18] 马云华, 王秀峰, 魏琨, 等. 黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响. *应用生态学报*, 2005, 16 (11): 2149 ~ 2153.
- [19] 高祥照, 马常宝, 杜森. 测土配方施肥技术. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [20] 章永松, 倪吾钟, 林成永, 等. 杭州市郊菜园土壤的有效养分状况与施肥对策. 谢建昌, 陈际型, 等. 菜园土壤肥力与蔬菜配方施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997. 43 ~ 46.
- [22] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985.
- [26] 杨永华, 姚健, 华晓梅. 农药污染对土壤微生物群落功能多样性的影响. *微生物学杂志*, 20 (2): 23 ~ 25.